

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表 2001-502256

(P 2001-502256 A)

(43) 公表日 平成13年2月20日 (2001. 2. 20)

(51) Int. Cl.⁷

識別記号

FI

テーマコード (参考)

B 2 9 C 67/00

B 2 9 C 67/00

G 0 2 B 6/12

G 0 2 B 6/12

N

Z

審査請求 未請求 予備審査請求 有

(全 26 頁)

(21) 出願番号 特願平10-517292
 (86) (22) 出願日 平成9年10月6日 (1997. 10. 6)
 (85) 翻訳文提出日 平成11年4月9日 (1999. 4. 9)
 (86) 国際出願番号 PCT/GB97/02723
 (87) 国際公開番号 W098/15858
 (87) 国際公開日 平成10年4月16日 (1998. 4. 16)
 (31) 優先権主張番号 9621049. 7
 (32) 優先日 平成8年10月9日 (1996. 10. 9)
 (33) 優先権主張国 イギリス (GB)
 (81) 指定国 EP (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), CN, GB, JP, US

(71) 出願人 イギリス国
 イギリス国 ハンプシャー ジーユー14
 0エルエックス ファーンボロー アイヴ
 エリーロード (番地なし) ディフェンス
 エヴァリュエーション アンド リサーチ
 エージェンシー
 (72) 発明者 シェパード テランス ジョン
 イギリス国 ウースターシャー ダブリュ
 ーアール14 3ピーエス モルヴァーン
 セント アンドリュース ロード (番地なし)
 ディーアールエイ モルヴァーン
 (74) 代理人 弁理士 中村 稔 (外6名)

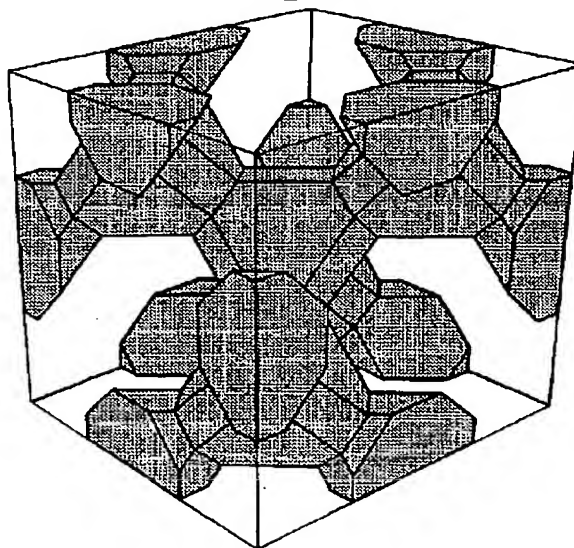
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 誘電体コンポジット

(57) 【要約】

フレキシブルコンピュータ設計段階で、第2の誘電体コンポーネントの急速な成長を含む周期的な誘電体コンポジットの製造の新規な方法。レーザステレオリソグラフィは、液体の光重合によって層毎にポリマー材料を形成するのに使用される。この仕方では構築された所定の材料は、周波数の所望のバンドに関する材料を介してマイクロウェーブ伝搬に対して完全に損失のないバリアーを示し、フォトニックバンドギャップ結晶として一般的に知られている。かかる材料は、全角広及び狭バンドブロックフィルタ、狭バンド透過フィルタ、平面アンテナのための反射及び損失のない基板、及び、発振器キャビティ及び導波管に関する新規で損失のない媒体を提供し得る。更に、特に、上述した製造方法及び連鎖する多面体の構築に適している新規な結晶構造を示す。

Fig.4.



【特許請求の範囲】

1. 2つの材料の周期的な空間的配置を有する誘電体コンポジットを製造する方法であって、前記材料は十分に異なる電氣的誘電率を有し、該コンポジットが周波数の範囲に関する電磁放射に対するバリアーを提供し、
バッチモノマーの選択的局所重合によって、3次元構造を形成し、前記構造は、高電氣的誘電率材料に対応するコンポジット及びボイドの低電氣的誘電率材料を有し、
前記ボイドにおいて高誘電率材料を鑄造する、
ステップを有する方法。
2. 前記3次元構造が、レーザを用いてバッチモノマーの選択的局所光重合によって形成される、請求の範囲第1項に記載の方法。
3. 前記高誘電率材料が、硬化可能ホストポリマーにおいて高誘電率粉末を有する、請求の範囲第2項に記載の方法。
4. 請求の範囲第1項乃至第3項のいずれか1項において定義された方法によって作り出された誘電体コンポジット。
5. 低誘電率材料及び高誘電率材料の周期的な空間的配置を有する誘電体コンポジットであって、前記材料は十分異なる電氣的誘電率を有し、前記コンポジットは、周波数の範囲に関して電磁放射に対してバリアーを提供し、高誘電率材料の構造は連鎖する多面体である、誘電体コンポジット。
6. 各多面体が、少なくとも1つのエッジ及び／又は少なくとも1つの頂点の除去によって形成された切頭四面体である、請求の範囲第5項に記載の誘電体コンポジット。
7. 各頂点が除去された、請求の範囲第6項に記載の誘電体コンポジット。
8. 各エッジが除去され、対応する頂点の除去によって形成された各切頭面が正六角形である、請求の範囲第7項に記載の誘電体コンポジット。
9. 前記切頭四面体が、1つの切頭四面体のオリジナル四面体の面が連続する切頭四面体の切頭エッジの面と隣接するという仕方で、各六角形切頭頂点で一対となって接続される、請求の範囲第8項に記載の誘電体コンポジット。

10. 低誘電率材料及び高誘電率材料の周期的な空間的配置を有する誘電体コンポジットであって、前記材料は十分異なる電氣的誘電率を有し、前記コンポジットは周波数の範囲に関して電磁放射に対するバリアーを提供し、前記低誘電率材料が重合によって形成されたポリマーを有する、誘電体コンポジット。
11. 前記高誘電率材料が、高誘電率粉末とホストポリマーとの混合物を有する、請求の範囲第10項に記載の誘電体コンポジット。
12. 前記高誘電体粉末が、チタン酸カルシウムを含む、請求の範囲第11項に記載の誘電体コンポジット。
13. 前記ホストポリマーがビニルエステルポリマーである、請求の範囲第11項又は第12項に記載の誘電体コンポジット。
14. 前記コンポジットが対称劈開欠陥 (symmetry-breaking defects) を有し、その結果、電磁放射に対して選択的透過が生じ、かかるコンポジットが少なくとも狭バンドノッチフィルタの部分形成する、請求の範囲第4項乃至第13項のいずれか1項に記載の誘電体コンポジット。
15. コンポジットが、ダイポールアンテナのための基板の少なくとも一部を形成する、請求の範囲第4項乃至第13項のいずれか1項に記載の誘電体コンポジット。
16. 少なくとも導波管の一部を形成し、該導波管が、電磁放射を受信するための入力端と、出力端とを有し、前記誘電体コンポジットが、電磁放射を入力端から出力端まで伝搬させることができる対称劈開欠陥を有する、請求の範囲第4項乃至第13項に記載の誘電体材料。
17. キャビティ発振器における放射受信構成要素を形成し、前記コンポジットが電磁放射を入力端から出力端まで伝搬させることができる対称劈開欠陥を有する、請求の範囲第4項乃至第11項に記載の誘電体コンポジット。

【発明の詳細な説明】

誘電体コンポジット

本発明は、誘電体コンポジットを製造する方法と、それによって形成された誘電体に関する。用語コンポジットは、2つの材料の間に不連続な界面を有する2つの材料を含むいかなる媒体をも意味することを意図する。

電氣的バンド構造は、ほとんどの物理及び電気工学の技術者にとって良く知られた概念である：結晶材料のバンド構造は、印加された電界の影響下で、材料内を移動する電子にアクセスすることができるエネルギーの範囲を示したものである。かかる材料における特別の興味は、結晶中の伝搬にかかるエネルギーによって処理される電子を禁制する「電子的バンドギャップ」である。かかるギャップは、結晶中の一貫する原子又は分子の周期的な配列から形成される結晶面からのブラッグ反射された電子の波動関数の相殺的干渉から生じる。ギャップは、熱的及び電氣的伝導度のようなかかる巨視的な現象を説明する際に有益であり、半導体の設計において利用され、それゆえ電子デバイスの設計に利用される。

Yablonovitch [1] 及びジョン [2] は、類似の原理は周期的媒体に伝播する電磁気 (EM) の分野に応用されるべきであると提唱した。つまり、誘電率の空間的な周期的分布は、EM電波が周期的媒体内のいかなる方向でも禁じられている周波数の範囲である”フォトニックバンドギャップ”を引き起こすことができる。かかる材料は”フォトニック結晶”として周知である。”フォトニック”という用語は、EMスペクトルの光学的かつ近赤外線範囲の現象との関連を意味し、むしろ、これはYablonovitch等による応用範囲であった。しかしながら、この現象の原理は全EMスペクトルにわたり、ここに提唱された特定の実例はマイクロウェーブ範囲に関するけれども、この明細書では本発明や他の範囲の領域に制限して解釈すべきではない。

面心立方 (FCC) 結晶格子は初め、フォトニックバンドギャップをみるのに最適な構造であるとしてYablonovitch及びジョンの両者によって提案された。す

べての14ブラベー格子のほぼ球体のブリュアン帯を有し、完全（すなわち全 4π ステラジアンを超えて延びる）かつ絶対的（すなわちEMポーラリゼーション（

polarisations) の両方を摘要) なバンドギャップをたいてい有する。完全な結晶構造の全ての説明は、空間における誘電体分布機能として方式 (ユニットセルの内容) の明細を必要とする。

Yablonovitch等〔3〕は、マイクロウェーブ周波数の完全かつ絶対的なフォトリックバンドギャップの存在を示すことができた。独占権を有する同種の高誘電率かつ損失のない材料stycast Hi-K (商標) に突き通すことによって形成されるFCC結晶における効果を首尾良く提示した。エマーソンとカミング (現在W. R. Graceの一部) によって製造されたこの材料は、低誘電率ポリマー (ポリスチレン) 及び高誘電率の粉末の充填材 (チタン二酸化物) を有するコンポジットである。3から30の誘電率を備えた誘電体ローディングの範囲で市販されている。Yablonovitchは誘電率12 (光学周波数でGaAsの誘電率、13.6に最も近い) を選択した。構造はポリマーの表面の点の六角形の配置にある各点を通して3つの丸い円筒形の間隙を突き通すことにより製作された。各シリンダーは垂直方向に34.26°の角度であり、互いに方位角上120°の角度の3つの間隙を備える。表面の穴は11mmで分けられ、0.5mmの半径を有する。この穴開け過程は〔111〕方向に対称の単一軸とともにFCC結晶を形成するように材料内で円筒形の間隙が交差する構造をつくる。構造は78%空である。これは認可(patented)構造〔3a〕であり、"Yablonovite"〔4a〕と称される。

Yablonovitch〔3〕はまた、〔111〕方向に垂直な平面における3セットの穴をドリルすることを伴う別の構造を提案した。後者の構造は完全な6摺曲(fold)ダイヤモンドの対称性を有し、穴開け方法を使用して製作することが実行不能であると証明した。3シリンダー構造〔4b〕より大きいバンドギャップを有すると予測されている。

3シリンダー材料は結晶層あたり9dBのレベルに伝播を抑制することがYablonovitch〔3〕によって示されている。〔111〕方向には、15GHzの、6層の結晶が中心周波数の20%幅以上の超える変換スペクトルで周波数ギャップを超える50dB弱化を示す。更に重要なのは、結晶構造における損失が内部

誘電性ブリッジを破壊することで持ち出される時、細い伝送ピークがギャップ〔

5] の中心に表れる。

3次元フォトニック結晶の製作のための別の構造はrefs. 5a、5b、及び5cに説明されている。これは、間隔を隔てた誘電性ロッドの層ごとの配置を含み、通常矩形の断面図である。このシステムの有用性は、構造が1次元エッチンググレーティングのウェハをスタックすることにより製作可能であることである。

これらの構造のそれぞれは非常に特別のタイプであり、製作の特別な方法と関連している。事実、原理上はフォトニックバンドギャップ現象を引き起こすことのできる無限大の構造が存在する。これらの構造のひとつが、これらより良い物理的属性（すなわち構成材料の与えられた誘電性コントラストとしてのギャップの幅に関して）を有することが可能である。

材料内の伝播の抑制は、吸収性の損失を伴わずに全ての角度でバンドギャップ内の全ての入射放射に反映して効果的に結晶のブロックを与える。これこそがストップバンド内の選択的なスペクトル透過率を伴った、ポテンシシャルアプリケーションの意味での事柄に関する属性である。

バンドギャップ自体が広い（中心周波数[4]の30%まで）ブロッキングフィルターを与えるように作られても良く、対称的な劈開欠陥の導入がギャップ内の変換ウィンドウを引き起こすことができる。ギャップの幅に関して非常に細く作られても良い。結果は狭帯域ノッチフィルターである。

他のポテンシシャルアプリケーションはダイポールアンテナのための完全反射基板であり、フォトニック結晶が有効なミラーとして作用し、発生する放射線の大部分が変換され、該基板で吸収されないようにする。初期の調査では、かかるアンテナ[6]からの改良された効率を既に有している。さらなるアプリケーションが導波管及びキャビティ発振器のための損失のない媒体である。これらの構造のさらなるアプリケーションの多数は参考文献5dに示されている。

本発明はステレオ・リソグラフィ（SL）高速プロトタイプの使用を用いる。SLは、広範囲の3次元オブジェクトを製造することができる多くの高速プロトタイプング技術のひとつである。SL装置（SLA）はコンピュータ援用設計（CAD）ワークステーションシステムでつくられたコンピュータファイルによる、数時間で

つくられる肉眼で見える3次元オブジェクトである。

この設計は独占権を有する立体モデリングCADソフトウェアを使用して実施される。ソフトウェアパッケージはCADファイルを.STLファイル（高速プロトタイプングで使用するファイルタイプのための標準付加としての.STL）に出力させるフィルターを含む。.STLファイルは次いで、立方体の構築に必要とされる支持構造を含むように独占権を有するソフトウェア（“Bridgeworks”）を使用して修正される。最後に、さらなる独占権を有するソフトウェア（3Dシステムによって供給される“Maestro”。下記参照）が付属のPCコンピュータを経由してSLAマシンを駆動させるのに3次元オブジェクトから適切なパラメータを計算する。

本発明によれば、2つの材料の周期的な空間的配置を有する誘電体コンポジットを製造する方法であって、前記材料は十分に異なる電氣的誘電率を有し、該コンポジットが周波数の範囲に関する電磁放射に対するバリアーを提供し、

バッチモノマーの選択的局所重合によって、3次元構造を形成し、前記構造は、高電氣的誘電率材料に対応するコンポジット及びボイドの低電氣的誘電率材料を有し、

前記ボイドにおいて高誘電率材料を鑄造する、
ステップを有する方法である。

好ましくは、3次元構造はレーザを使用するバッチモノマーの選択的な局部的光重合により形成され、更に好ましくは、より高い誘電性材料は硬化できるホストポリマーにおける高誘電性粉末を有する。

本発明の第2の態様によれば、新規な結晶はここに説明されるようなTapsteriteの構造を有する。

次に、以下の図面を参照して例示的なものによってのみ本発明を記載する。

図1は、本発明による第1のサンプルの透過特性に関する性能データを示す。

図2は、本発明による第2のサンプルの透過及び反射特性に関する性能データを示す。

図3は、新しい結晶構造が本発明によって作り出された切頭四面体を示す。

図4は、本発明によって作り出された結晶構造に対応する第1のユニットセル

を示す。

図5は、本発明によって作り出された結晶構造に対応する第2のユニットセルを示す。

S L A機械の主な製造者は、米国カリフォルニア州Valenciaにある3 D Systemsである。本発明の特定の実施形態で使用されるS L A-250/40機械は、S L-5170液体樹脂の254mm×254mm×254mmバットを包含する紫外線スクリーンからなる。チバガイギーによって製造された樹脂(C

I B A T O O L[®]S L樹脂)は、紫外線に曝されることによって硬化される。システムは、235nmで放射される、25mWのHeCdレーザを包含する。内部光学系は、樹脂の表面でレーザビームを検知し、ビーム幅は約0.2mmである。光学系は、接続されたP Cコンピュータから伝えられたデジタル命令に従って、ビームを樹脂の表面に亘って走査する。

樹脂の表面で局所的キュアリングを行う。表面の完全な走査は、表面直下に位置決めされたエレベータプラットフォームで厚さ0.125mmの樹脂の層を選択的に重合させる。樹脂バット内の下部にあり、次いで液体樹脂の表面の下0.125mmの位置に上がる各層が、エレベータプラットフォームを走査した後、次のレーザ走査の準備ができています。従って、3次元構造が所望の高さまで層ごと(layer-by-layer)に構築される。構造体(structure)の構築の終わりで、バットから上げられ、構造体から過剰液体樹脂を干すためにそのままにする。

次いで、残っている過剰な液体樹脂を除去するために構造体をイソプロピルアルコール(I P A)(即ち、プロパン-2-オール)又はトリプロピレングリコールモノメチルエーテル(T P M)を用いて洗浄し、最後に、後硬化装置(P C A)で硬化し、洗浄されたオブジェクトを水浴し、残っている全ての未硬化モノマーを紫外線で硬化させる。

このプログラムに採用されてた製造プロセスは、以下の段階を含む。まず、高誘電率構造はC A Dプラットフォームで設計され、負の構造に変換される。即ち、高誘電率領域は空であり、逆の場合も同じである。結果として生じるファイルは、次いで、急速プロトタイプ機械(この場合、ステレオリソグラフィ装置、即ちS

LA) によって読まれることができるフォーマットに変換される。SLAは負のプリフォームを成長させる。結果として生じたオブジェクトは、低誘電率（エポキシ樹脂）モールドであり、高誘電率材料を真空キャストすることができる。実際には、挿入された材料は、液体樹脂を装填する高誘電率粉末を包含する。SLAエポキシ誘電率は、十分且つ絶対的な光学的バンドギャップの形成のために十分高い誘電率を有するための複合材料に関して十分低い（マイクロ波周波数2乃至30GHzでチバガイギーSL5170に対して3の相対誘電率である）。

この方法は、上述した標準SL方法を使用してSLポリマー以外の周期的材料の初期製造を包含する。実際には、これは、CADソフトウェアにおける関連する構造的ユニットセルの幾何学の最初の設計（仕様）を包含する。この例では、SLポリマーは結晶の低誘電率構成要素で指定される。

次のソフトウェア操作は、周期的な構造を作り出すためにユニットセルの複製を定義する。更なる操作は、関連するデバイスを定義するために構造を修正することができる。

構造体又はデバイスは標準SL技術を使用して成長される。

構造の空の隙間は、必要な定数を提供する高誘電率材料で満たされる。実際には、これは、硬化可能なホストポリマーを備える低損失粉末であり、高誘電率の混合で構成された詰め物の準備を含む。詰め物はSL樹脂モールドに導入され、真空状態で注入され、その後固まらせる。

第1のサンプルは、MacNeal Schwendler Corporationによって開発されたAries 3次元モデリングCADソフトウェアを使用してSun Workstationで辺が9.86mmの立方体ユニットセルによって準備される。第2のサンプルはまた、第1のサンプルの設計で使用されたのと同じシステムで辺が17.08mm、12.08mm及び6.97mmの立方体ユニットセルを設計することによって準備される。両サンプルについて使用される構造は、他で記載される交わる四面体タイプである。採用された詰め物の一部は、70%低誘電率材料乃至30%高誘電率材料で設計される。構成材料の次に測定された誘電率は、3及び12.5である。

STLフォーマットにファイルされた2つのユニットセルは、Silicon

Graphics Indyワークステーションに転送され、第1のサンプルにおいては、 $2 \times 3 \times 4$ 単位立方体ユニットセルの層を、第2のサンプルにおいては、(3D System Inc. によって供給された) 所有Maestroソフトウェアを使用して 20×2 立方体ユニットセルの層を与えるように複製され、次いで、サポートのグリッドが(米国カリフォルニア州ValenciaのSolid Conceptsによって提供される) 所有ソフトウェアBridgeworksを使用して構造に加えられる。Maestroソフトウェアはまた、構造を構築するためにSLA機械に必要なパラメータを計算するのに使用される。これは、最後のオブジェクトが構築されるSLポリマーの各スライスのパラメータから計算する自動「スライス(slicing)」ルーチンである。PCソフトウェアは(「ベクトル」、「範囲」、「層」及び「パラメータ」と名付けられた) 4つの「構築」ファイルを出力する。

次いで、ワークステーションからのファイル出力は、SLA機械に接続されたPCコンピュータに入力され、(3D System Inc. によって供給される) System Controls of tware 3D Buildを包含し、機械は関連するサポートで下部層を構築するために命令されるが、サポートなしで各々存在する層の上に垂直に位置決めされた次の同一の層を構築するために命令される。作り出された最後の構造は、第1のサンプルに関しては、寸法が約 $227\text{ mm} \times 227\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ であり高さが23立方体ユニットセルであり、第2のサンプルに関しては、寸法が約 $242\text{ mm} \times 237\text{ mm} \times 34\text{ mm}$ であり高さが34立方体ユニットセルである。

(立方体ユニットセルに対応する) 第1のサンプルの方位は、大きな面が結晶の $[100]$ 方向を表すように配列している。(立方体ユニットセルに対応する) 第2のサンプルの方位は、大きな面が結晶の $[111]$ 方向を表すように配列している。

サンプルは次いで、TPMで洗浄され、上述したPCAで硬化される。

プレフォームサンプルに注入するために選択された高誘電率の詰め物はチタン酸カルシウムである。ポリマーホストは、触媒としてButanox LPTを使用するDerakane 8084のScott Baderによって製造された低粘性ビニルエステル系

である。

チタン酸カルシウム粉末は、37体積%のレベルまで液体樹脂詰め物で混合される。ゲル時間は、使用できる30分のるつぼ期間が与えられた樹脂系に加えられたとき、触媒の5重量%と促進因子の5重量%によって示されてテストされる。混合物の固体硬化サンプルが最初に得られ、硬化することができ、次いで、誘電体プローブで解析され、装置の正確さの範囲内でゼロの虚数部分で ($\pm 0.1i$ の正確さで)、10GHzの周波数で12.5の相対誘電率の値を記録し、即ち、硬化された混合物は測定された周波数で些細な損失を示す。

5点抽出を備える真空キャップは、サンプルの注入のために作り出される。このキャップは、単一のモールドの上をエポキシ樹脂を予め染み込ませたグラスファイバーを使用して製造される。British Standardパイプ連結は、その後、キャップに開けられた穴を介して加えられ、真空トラップを介して真空ポンプに接続される。樹脂タンクは、注入されうるサンプルよりも僅かだけ大きいように作られたものが使用される。

真空ポンプは、気泡を有しない樹脂が注入されたブロックから樹脂トラップ内に引かれるまで、スイッチオンであり稼働することができる。接続パイプのタップは、次いで、閉じられ、真空ポンプはスイッチオフにされる。余剰樹脂は次いで、ブロックの頂部に近いレベルまで洗浄機を用いて除去する。いったん、樹脂がゼリー状の粘稠度に硬化したならば(約30分)、ブロックを除去し、余剰樹脂をこすり取り、真空キャップを除去する。樹脂を完全に硬化することができ、ブロックをその後除去する。

上述の方法で製造された第1のサンプルの伝搬特性は、放射がその大きな面[100]結晶方位に対して垂直に第1のサンプルを通過するように、第1のサンプルのどちら側でも60cmに位置決めされ、Flann Microwave DP240広帯域トランスミッタ及び受信機ホーンを使用して周波数の範囲を超えて測定される。

伝搬信号は、2乃至20GHzの掃引周波数を提供するHewlett-Packard Vector Network Analyser 8720Bによって生成される。

伝搬信号は、同じNetwork Analyserによって解析され、200KHzインターバルで

測定値を表示する。伝搬応答のスムーズな部分を図1に示す。約14GHzに中心を有し、12GHzの値に関して約10dBの伝搬のドロップを示し、その値は数値計算によって予測される。ギャップの幅は、約3GHzであり、中心周

波数の約20%である。上述の方法で製造された第2のサンプルの透過及び反射特性は、マイクロウェーブトランスミッタを使用して周波数の範囲を超えて測定され、レシーバホーンは真のガウス分布ビームプロファイル进行处理する。(ホーンの内側円周面は波形である。) トランスミッタホーンは、マシーン放物面ミラーから0.5mに位置し、ミラーから0.5mに位置決めされた第2のサンプルの[111]面に対して90°で入射放射を反射する。第2のサンプルを介して透過された放射は、第2の同一のレシーバホーンに同一のミラーによって90°で反射される。各ホーンは、Wiltron360サーキットアナライザに接続され、今度は、パーソナルコンピュータコントローラによってインターフェースされる。当該システムは、8.2GHzから18GHzまで信号を生成するために6737Bシンセサイザを使用する。

透過及び反射された信号は、同じサーキットアナライザによって解析され、200KHzインターバルで表示される。透過及び反射スペクトルは、1つの対は、8.2GHz乃至12.4GHzの範囲をカバーし、2つ目は12.4GHz乃至18GHzの範囲をカバーする、2つの異なる対のホーンを使用して与えられる周波数インターバルを超えて得られる。

結果のスペクトルを図2に示す。パラメータ s_{11} 及び s_{22} は、2つの対向する[111]面に対する放射入射に関する第2のサンプルの反射係数を示し、 s_{12} 及び s_{21} は、それぞれの面に対応する透過係数を示す。透過係数は15GHzでの値に関して約12dBの透過のドロップを示し、ドロップは数値解析によって予測された値である約12GHzで中心を有する。ギャップの幅は、約4GHzであり、中心の周波数のおおよそ1/3である。第2のサンプルの反射率 s_{22} が、14.5GHzでのその値に対するバンドギャップにおいて約20dBによって上昇する。 s_{12} 及び s_{21} によって表された測定の間に見られた反射の相異は、満たされているキャビティにおける好ましい位置を占有する高誘電性フィルタに

おける僅かな不完全性（バブル）からひょっとしたら生じる2つの面の間の第2のサンプルにおける小さな非対称を示す。

上述した3-及び6-シリンダYablonovite構造に加えて、組み合った四面体で構成された更なる構造が発明された。発明者は、「Tapsterite」構造と名付けた。

それは、6-シリンダYablonoviteの完全なダイヤモンド対称を持っており、かくして、同じ誘電率に関して、3-シリンダYablonoviteよりも広いバンドギャップを示す。

湾曲した表面ではなく、平面と真っ直ぐなエッジとから主に構成された構造であるので、それ自身を標準的な機械加工の方法を使用する簡単な製造に加えることはできない。しかしながら、理想的なSL方法に関して、及び、CAD装置で最初の設計をするいかなる方法に関しても、Ariesソフトウェアが、湾曲ではなく基本的な面として表面をストアするので、3-シリンダYablonoviteの254ユニットセルを記述するSTLファイルが24.8Mバイトのファイルサイズを占有し、6-シリンダYablonoviteの同じ数のユニットセルが35Mバイトを占有し（この例では、40の平らなファセットからなる各円形の円柱状ホール）、同じ数のセルでTapsteriteは9.1Mバイト占有する。第2に、SL構築は、樹脂のレーザ走査が直線によって定義されたのと同じくらい早い。

Tapsteriteは、そのネガティブ構造がまたTapsteriteの形態（勿論、結合充填部分を備えている）であるという特徴を有する。

以下は、Tapsterite構造の高誘電率部分の幾何学的な記載である。該構造は、切頭四面体からなる。各切頭四面体は、（その特徴の一意的な形状によるものである）正四面体の切頭によって形成される。オリジナルの四面体の3つの面によって構成される3つの面である、四面体の各頂点又は角から小さな正四面体を除去し、これらの4つの四面体は同じサイズである。

オリジナル四面体の中心から各エッジの中心点まで引いた線に対して垂直な長方形平面に沿って切断するように、結果として生じた物体を、（オリジナル四面体の面の交差する線の）6つのエッジを除去することによって更に切頭する。こ

の面の位置は、オリジナル四面体の切頭された頂点がいま正六角形平面を示すようになっている。図3は、かかる完全に切頭された四面体を示し、切断エッジのうちの1つの例は長方形ABCDである。

切頭プロシージャは、いったん各頂点の切頭の度合いを決めたら、一意的である。最終的な結晶の組成コンポーネントに関する充填部分は、切頭のこの度合いによって決定される。

結晶構造は、以下の方法において、切頭四面体(TTs)の連結によって定義される: TTsは、1つのTTのオリジナル四面体の面が連続するTTの切頭されたエッジの面に隣接する仕方、各正六角形切頭面で一對として接続される。

結晶(及び、上述した第1のサンプルを生成するのににも使用される)立方体ユニットセルは、以下の特定の方位において(必要ならば切頭された)丁度8個のTTsを包含するキューブによって構成され: 各TTの対向する長方形の面の中心を結合する線は、立方体セルを囲むキューブの面に対して平行である。立方体セルの内容は、どんな方向にでも、任意の線形並進に従事して構成される。図4は、かかる立方体ユニットセルの例を示し、5個の完全なTTs及び12個の1/4TTsを包含し、ここで、1/4TTsの中心はユニットセルエッジの12の中心部分に位置する。

上述したような第2のサンプルを生成するのに使用される立方体(cuboid)ユニットセルは、別の方位の構造に基づいており、図5に示す。セルは、(可視の)頂点T, U, V, W, X, Y, Zを備える立方体をなす。それは、記載された立方体の外側、且つ、(可視の)頂点M, N, O, P, Q, R, Sを備える示した包囲キューブの内側の材料を除外することによって形成される。(除外する前の)この後者のキューブの内容は、より大きなキューブを形成するために切頭された、以前の段落に記載したような、8つの立方体ユニットセルの内容として定義される。座標系を参照すると、座標の原点はこの大きなキューブの中心であり、点(x, y, z)は、(0, 0, 0)で原点を有する座標x, y及びzによって記載され、次いで、大きなキューブの頂点M, N, O, P, Q, R及びSは、それぞれ、特定の値(-1, -1, 1)、(-1, 1, 1)、(1, 1, 1)、

(1, 1, -1)、(1, -1, -1)、(-1, -1, -1)、(-1, -1, 1) 及び (1, -1, 1) として記載することができる。内部の立方形は次いで、(可視の) 頂点 T, U, V, W, X, Y, Z は、特定の値 $(-1/2, -1, 0)$ 、 $(-1, -1/2, 0)$ 、 $(0, 1/2, 1)$ 、 $(1/2, 0, 1)$ 、 $(1/2, 1, 0)$ 、 $(1, 1/2, 0)$ 、 $(0, -1/2, -1)$ を有する。立方形の内容は、どんな方向においても線形並進に従事して構成され、かかる立方形の内容は、所望の方位を備える完全な結晶格子を作り

出すために繰り返されるユニットセルとして役立つ。

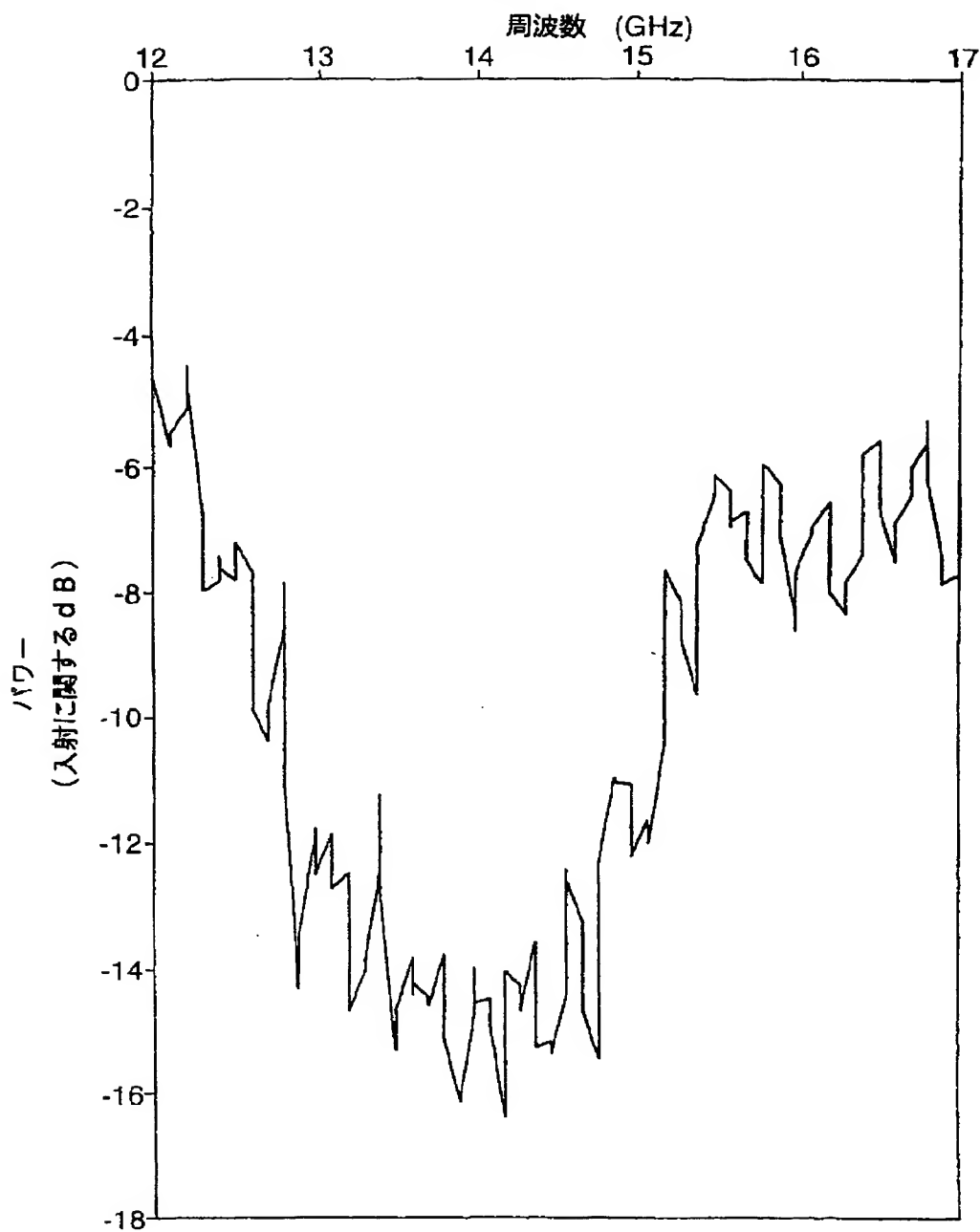
参考文献

- 1 YABLONOVITCH, E., Inhibited spontaneous emissions in solid-state physics and electronics, Phys. Rev. Lett. 58, 2059, 1987.
- 2 JOHN, S. Strong localisation of photons in certain disordered dielectric superlattices, Phys. Rev. Lett. 58, 2486, 1987.
- 3 YABLONOVITCH, E., GMITTER, T. J., and LEUNG, K. M., MEADE, R.D., RAPPE, A. M., BROMMER, K.D., and JOANNOPOULOS, K. M., 3-dimensional photonic band structure, Opt. And Qu. Elect., 24, S273, 1992.
- 3a YABLONOVITCH, E., Optical Reflector Structure, Device, Method of Fabrication, and Communications Method, Int Patent Classification G02B X, Int. Publication No. WO 92/11547, 1992 年 7 月 9 日
- 4a JOANNOPOULOS, J.D., MEADE, R.D., and WINN, J.N., Photonic Crystals: Molding the Flow of Light, (Princeton University Press, Princeton, N.J., 1995).
- 4b CHAN, C.T., HO, K.M., and SOUKOULIS, C.M., Photonic band gaps in experimentally realizable periodic dielectric structures, Europhys. Lett. 16, 563, 1991.
- 5 YABLONOVITCH, E., GMITTER, T.J., MEADE, R.D., RAPPE, A.M., BROMMER, K.D., and JOANNOPOULOS, J.D., Donor and acceptor modes in photonic band structure, Phys. Rev. Lett. 67, 3380, 1991.
- 5a OZBAY, E., TUTTLE, G., MICHEL, E., HO, K-M., BISWAS, R., CHAN, C-T.C., and SOUKOULIS, C., Periodic Dielectric Structure for Production of Photonic Band Gap and Method for Fabricating the Same, 米国特許第 5,406,573 号, 1995 年 4 月 11 日。
- 5b HO, K-M, CHAN, C-T., and SOUKOULIS, C., Periodic Dielectric Structure of Photonic Band Gap and Devices Incorporating the Same, US Patent No. 5,335,250, Aug. 2, 1994; Int. Patent No. H01S3/18, Int. Publication No. WO 94/15389, 1994 年 7 月 7 日

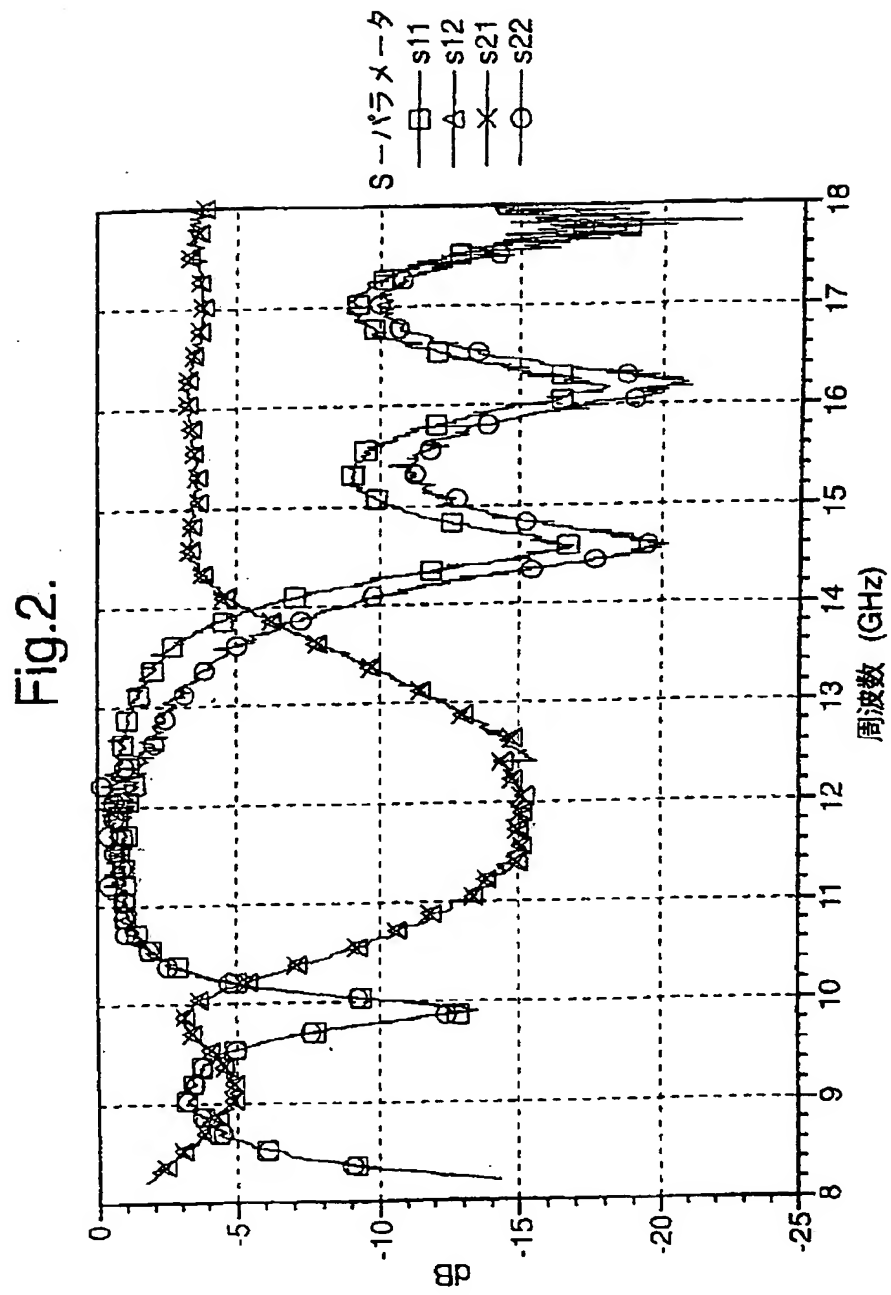
- 5c HO, K-M., CHAN, C-T., SOUKOULIS, C.M., BISWAS, R., and SIGALAS, M., Photonic Band Gaps in Three Dimensions: New Layer-by-Layer Periodic Structures, Solid-State Communications, 89, (5), 413-416, 1994; OZBAY, E., MICHEL, E., TUTTLE, G., BISWAS, R., HO, K-M., BOSTAK, J., and BLOOM, D. M., Terahertz Spectroscopy of Three-dimensional Photonic Band-gap Crystals, Optics Letters, 19, (15), 1994 年 8 月 1 日; OZBAY, E., MICHEL, E., TUTTLE, G., BISWAS, R., SIGALAS, M., and HO, K-M., Micromachined Millimeter-wave Photonic Band-gap Crystals, App. Phys. Letts. 64, (16), 2059, 1994 年 4 月 18 日; OZBAY, E., MICHEL, E., TUTTLE, G., BISWAS, R., HO, K-M., BOSTAK, J., and BLOOM, D.M., Double-etch Geometry for Millimeter-wave Photonic Band-gap Crystals, Appl Phys. Lett. 65, (13), 1617, 1994 年 9 月 26 日; OZBAY, E., ABEYTA, A., TUTTLE, G., TRINGIDES, M., BISWAS, R., CHAN, C-T., SOUKOULIS, C., and HO, K-M., Measurement of a Three-dimensional Photonic Band Gap in a Crystal Structure made of Dielectric Rods, Phys Rev. B50, (3), 1945, 1994 年 7 月 15 日.
- 5d BROMMER, K., MULLANEY, H., MEADE, R., RAPPE, A., and JOANNOPOULOS, j., Low-Loss Dielectric Resonant Devices, Int. Patent Classification H01P 1/207, H01Q 15/00 G02B 5/18, 5/28, Int. Publication No. WO 92/15124, 1992 年 9 月 3 日.
- 6 CHENG, S.D., BISWAS, R., OZBAY, E., McCALMONT, S., TUTTLE, G., and HO, K.-M., Optimized dipole antennas on photonic band gap crystals Appl. Phys. Lett. 67, 3399, (1995).
- 7 LEUNG, K.M. and LIU, Y.F., Phys. Rev. Letts., 65, 3152, (1991); ZHANG, Z. and SATPATHY, S., ibid. 65, 2650 (1991); HO.M., CHAN, C-T., and SOUKOULIS, C.M., ibid. 65, 3152 (1991)

【図1】

Fig.1.

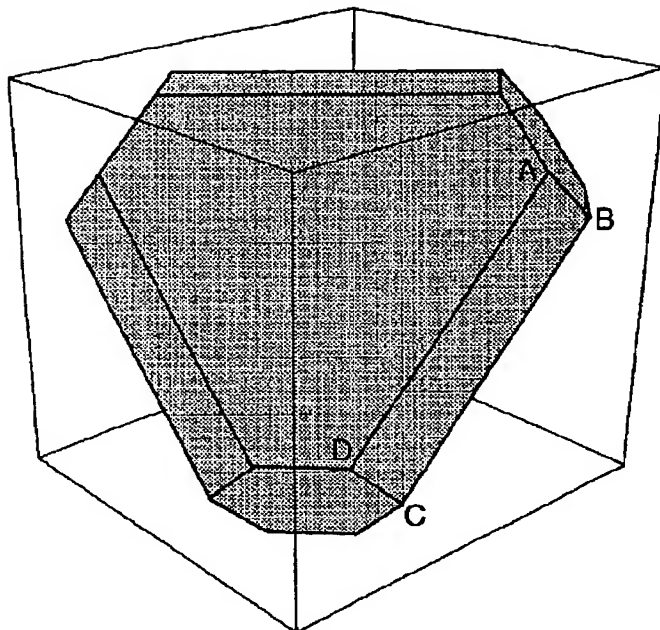


【図2】



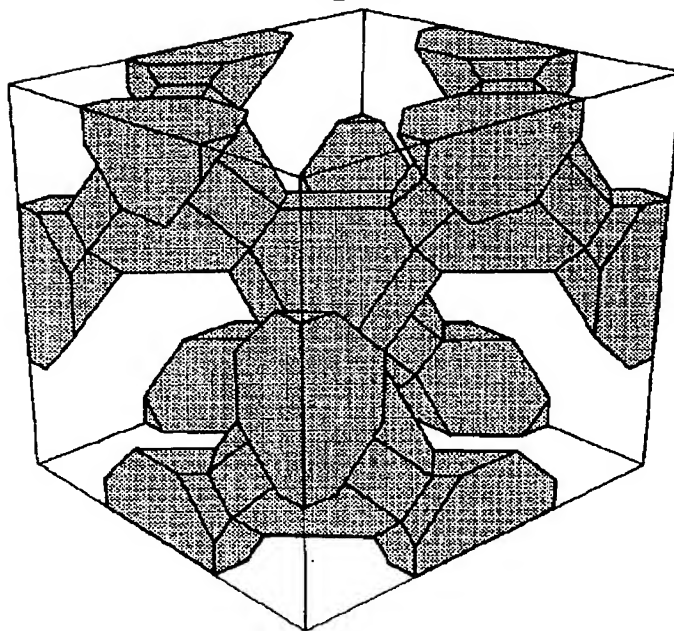
【図3】

Fig.3.



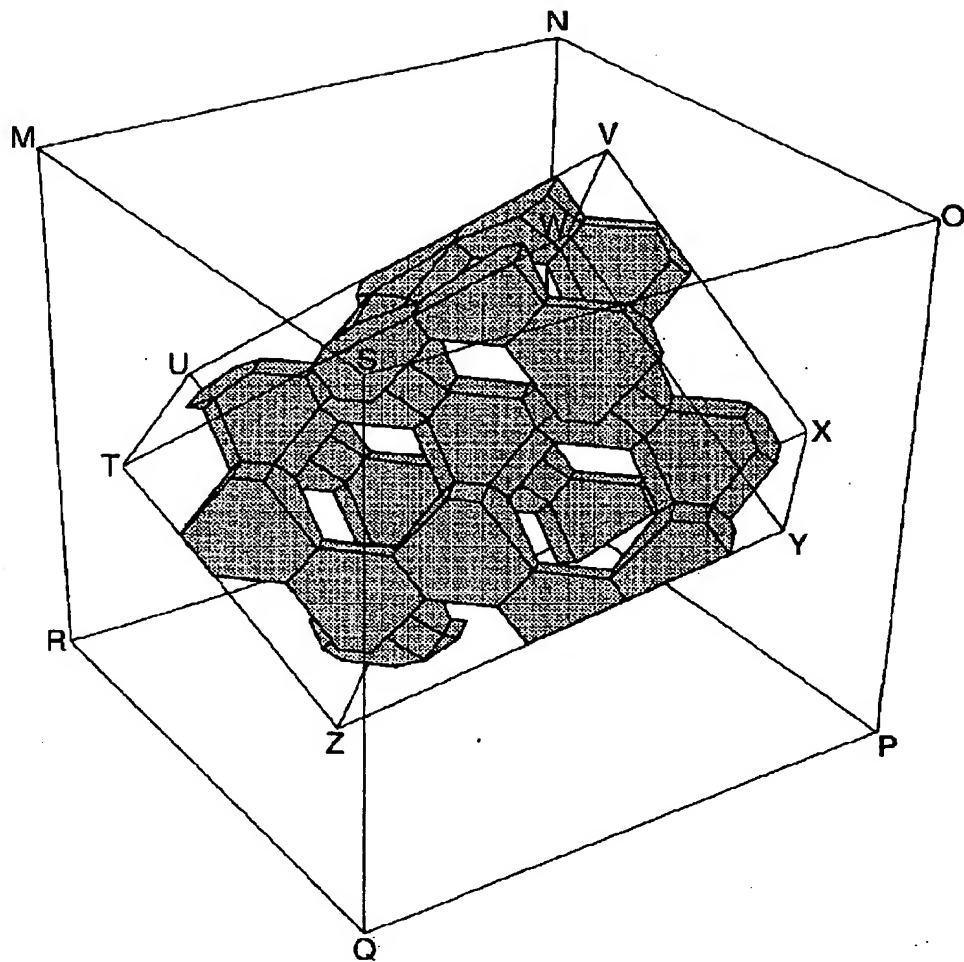
【図4】

Fig.4.



【図5】

Fig.5.



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No. PCT/GB 97/02723		
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 6 G02B6/12 B29C67/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 G02B B29C		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,A	WO 96 42036 A (CALIFORNIA INST OF TECHN ;KEWITSCH ANTHONY S (US); YARIV AMNON (US) 27 December 1996 see page 8, line 4 - line 12 see page 21, line 12 - line 23 see page 27, line 29 - line 30 see page 34, line 7 - line 19; figure 17B see page 35, line 26 - page 36, line 5 ---	1,2,4,10
P,A	WANKE ET AL.: "Laser rapid prototyping of photonic band-gap microstructures" SCIENCE, vol. 275, no. 5304, 28 February 1997, USA, pages 1284-1286, XP002051887 see page 1284, right-hand column, paragraph 2 - page 1285, left-hand column, last paragraph --- -/--	1,2,4,10
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		
<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents:		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "B" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 13 January 1998		Date of mailing of the international search report 06.02.98
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentkanal NL - 2260 HW Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo NL Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Ciarrocca, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 Intern. Application No
 PCT/GB 97/02723

C(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 385 114 A (MILSTEIN JOSEPH B ET AL) 31 January 1995 see column 12, line 14 - line 20; figure 4 see column 12, line 30 - line 33	5,14-17
A	see column 4, line 53 - line 65 see column 9, line 22 - line 28 see column 9, line 44 - line 51 ---	1,4,10
A	WO 92 15124 A (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY ; LOCKHEED SANDERS INC (US)) 3 September 1992 cited in the application see page 3 see page 8, paragraph 2 see page 14 - page 16; figures 8-10A ---	1,5,10, 14,16,17
A	CHENG S D ET AL: "OPTIMIZED DIPOLE ANTENNAS ON PHOTONIC BAND GAP CRYSTALS" APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 67, no. 23, 4 December 1995, pages 3399-3401, XP000618181 cited in the application see abstract ---	15
A	US 5 172 267 A (YABLONOVITCH ELI) 15 December 1992 cited in the application see column 3, line 16 - line 20 ---	1,5
A	US 5 245 466 A (BURNS MICHAEL M ET AL) 14 September 1993 see column 1, line 18 - line 23 see column 1, line 38 - line 44 see column 2, line 1 - line 25 see column 9, line 6 - line 18 ---	1,2,4,5, 10
A	WO 94 15389 A (UNIV IOWA RES FOUND) 7 July 1994 cited in the application see page 7, line 1 - line 13 see page 8, line 4 - line 28; figure 1 see page 10, line 14 - line 17 see page 15, line 3 - line 18 ---	1,5,10
A	WO 92 00185 A (HARRIS MARTIN RUSSELL) 9 January 1992 see abstract see page 2, line 1 - line 33 ---	1,2,10
-/--		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/GB 97/02723

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>CHAN C T ET AL: "A7 STRUCTURE: A FAMILY OF PHOTONIC CRYSTALS" PHYSICAL REVIEW, B. CONDENSED MATTER, vol. 50, no. 3, 15 July 1994, pages 1988-1991, XP000616822 see page 1988, right-hand column, paragraph 1 - paragraph 2 see page 1990, left-hand column, last paragraph - right-hand column, paragraph 1 -----</p>	5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/GB 97/02723

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9642036 A	27-12-96	NONE	
US 5385114 A	31-01-95	US 5651818 A	29-07-97
		US 5680318 A	18-11-97
WO 9215124 A	03-09-92	US 5187461 A	16-02-93
		AU 1435192 A	15-09-92
		US 5471180 A	28-11-95
		US 5389943 A	14-02-95
US 5172267 A	15-12-92	AU 9050991 A	22-07-92
		WO 9211547 A	09-07-92
US 5245466 A	14-09-93	NONE	
WO 9415389 A	07-07-94	US 5406573 A	11-04-95
		US 5335240 A	02-08-94
		EP 0676092 A	11-10-95
WO 9200185 A	09-01-92	NONE	

フロントページの続き

(72)発明者 タプスター ポール リチャード
イギリス国 ウースターシャー ダブリュ
ーアール14 3 ピーエス モルヴァーン
セント アンドリュース ロード (番地な
し) ディーアールエイ モルヴァーン

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USDT)